

高解像度台風シミュレーションのための データ同化手法

辻野 智紀

May 9, 2016

- 多重壁雲の維持・置き換わりメカニズムを実際に観測される台風
に適用したい.
- メカニズムの検証には台風中心付近の詳細な風・温度分布が必要
(衛星観測では得られない).
- 数値モデルを用いた実台風シミュレーションが必要になる.

高解像度シミュレーションに伴う問題点

領域モデルに由来する問題

- 高解像度により、計算領域面積が制限される。
- 計算領域を超える総観・惑星規模擾乱 ($O(2000 \text{ km} \sim)$) の時間変化が領域モデルで正確に再現できない (e.g. Takayabu and Kanamitsu, 2010).
- 台風の経路に影響を与える指向流の再現性 (台風経路の再現性) が制限される。

解析値に由来する問題

- 空間解像度の不足から、解析値において台風スケール ($O(\sim 100 \text{ km})$) の構造が再現されていない。
- 高解像度モデルの初期値となる渦が実際の台風渦より弱くなっている。
- シミュレーション開始直後の台風強度変化 (発達) の再現性が制限される (e.g. Cha and Wang, 2013).

問題点解決のために

総観・惑星規模擾乱の再現性向上

- 全球解析値のような大規模擾乱の再現性がよいデータに近づくように領域モデルの場を強制すればよい。
 - このとき、強制を与えるのは**大規模場**のみ。
 - 全球解析値にそのまま強制すると、「解析値に由来する問題」における台風渦の再現性が悪くなる。
- Kida et al. (1991); von Storch et al. (2000) などが任意の空間スケールをもつ擾乱のみ解析値に近づける強制の手法を開発 (スペクトルナッジング手法)。

解析される台風渦の強度改善

- 解析値における弱い台風渦を、人工的に生成した強い台風渦に置き換えればよい。
- Kurihara et al. (1993); Nguyen and Chen (2011); Cha and Wang (2013) などが、力学的に整合した強い台風渦を作る手法を開発 (力学的初期値化法)。

同化手法 1 – スペクトルナッジング手法 –

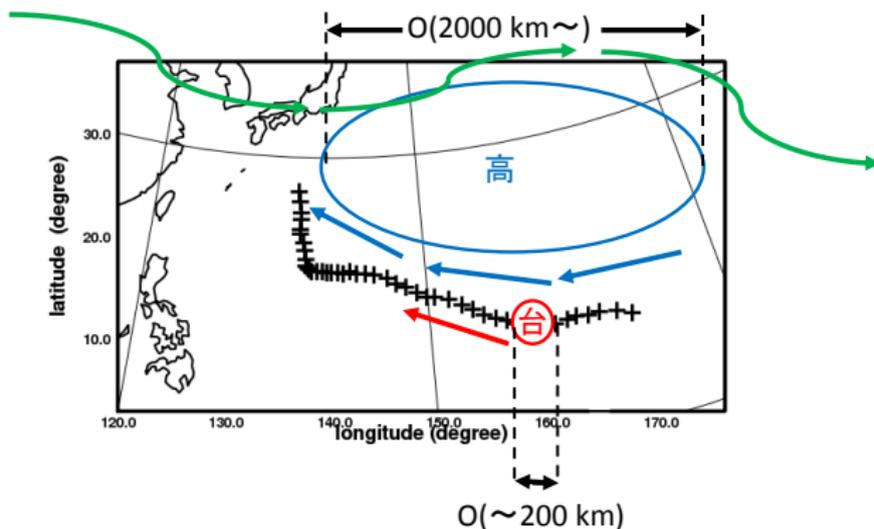
von Storch et al. (2000) のスペクトルナッジング手法

数値モデルの場の変数 ψ を解析値 $\bar{\psi}$ に強制する.

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \mathcal{L}(\psi) + \sum_{k,l}^{K_m, L_m} \gamma_{k,l} (\bar{\psi} - \psi) \exp [i(kx + ly)].$$

ただし, 任意の範囲のスケールをもつ擾乱にのみ強制をかける.

Rosby 波 O(2000 km ~)



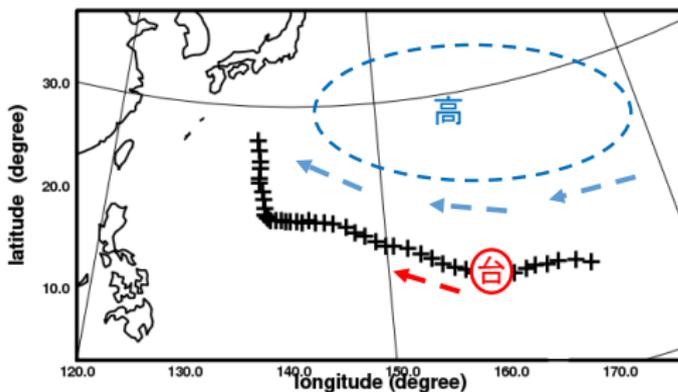
同化手法 1 – スペクトルナッジング手法 –

von Storch et al. (2000) のスペクトルナッジング手法

数値モデルの場の変数 ψ を解析値 $\bar{\psi}$ に強制する.

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \mathcal{L}(\psi) + \sum_{k,l}^{K_m, L_m} \gamma_{k,l} (\hat{\bar{\psi}} - \hat{\psi}) \exp [i(kx + ly)].$$

ただし, 任意の範囲のスケールをもつ擾乱にのみ強制をかける.



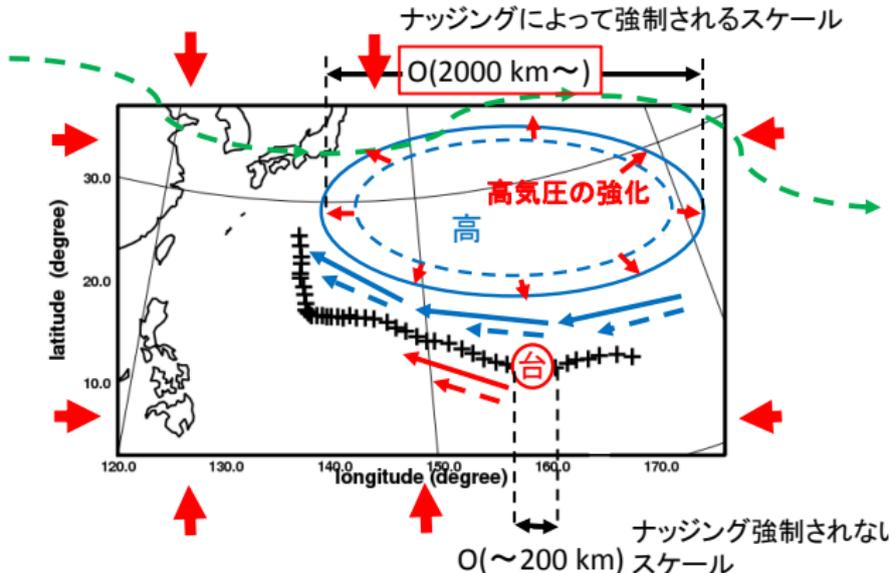
同化手法 1 – スペクトルナッジング手法 –

von Storch et al. (2000) のスペクトルナッジング手法

数値モデルの場の変数 ψ を解析値 $\bar{\psi}$ に強制する.

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \mathcal{L}(\psi) + \sum_{k,l}^{K_m, L_m} \gamma_{k,l} (\bar{\psi} - \hat{\psi}) \exp [i(kx + ly)].$$

ただし、任意の範囲のスケールをもつ擾乱にのみ強制をかける.



同化手法 2 – 力学的初期値化手法 –

Cha and Wang (2013) の力学的初期値化手法.

- ① 解析値を用いて対象とする台風を中心とした短時間狭領域高解像度シミュレーション (Hires) を行う.
- ② 場の変数 F を環境場 F_B と台風渦 F_V に $F = F_B + F_V$ と分ける (解析値 F^A , Hires F^H).

$$F^A = F_B^A + F_V^A, \quad F^H = F_B^H + F_V^H.$$

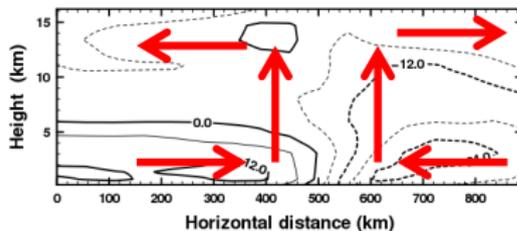
- ③ F_V^H を F_V^A と入れ替えて, 新しい解析値 $F_{new}^A = F_B^A + F_V^H$ を作成.
- ④ F_{new}^A における台風強度が台風強度解析と同程度になるまで 1-3 を繰り返す.
- ⑤ 最終的に解析値データに, より強い台風渦が埋め込まれる.

- Cha and Wang (2013) の手法は 2-way nesting 用なので, 1-way nesting 用に修正する.
- 手法に用いられる数式を一部整理することで, 自由度を 1 減らす.

同化手法 2 – 力学的初期値化手法 –

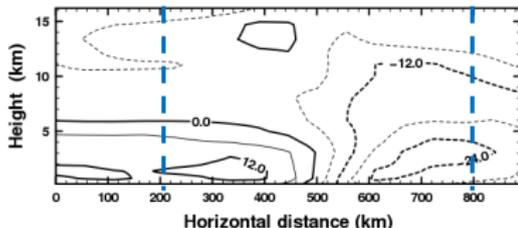
台風中心付近のみ
高解像度 (~1 km)
短時間 (~6 hour)
シミュレーション

スピナップ中...



台風渦の中心付近
(~300 km) を
解析値と置き換え

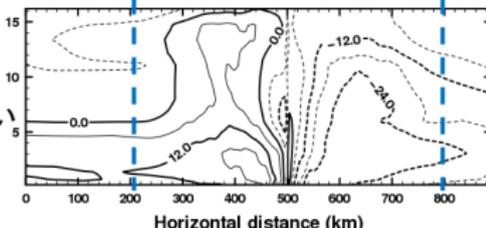
解析値 (GSM など)



新しい解析値

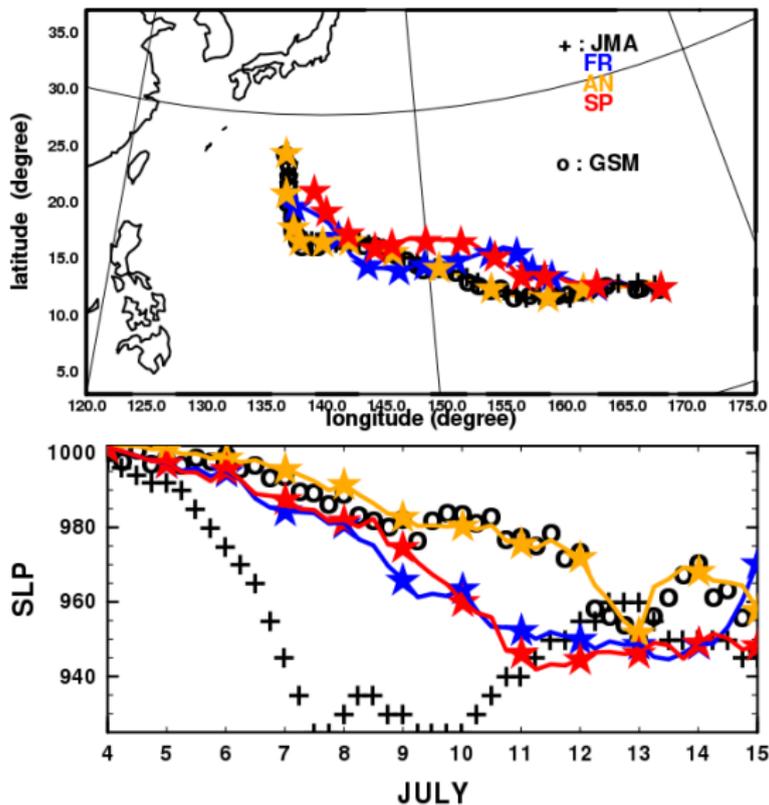
台風渦

発達が足りない
場合、N 回
繰り返し



力学的初期値化法の概念.

結果 1 (スペクトルナッジング手法)



T1511 に対する水平解像度 5 km CReSS 実験.

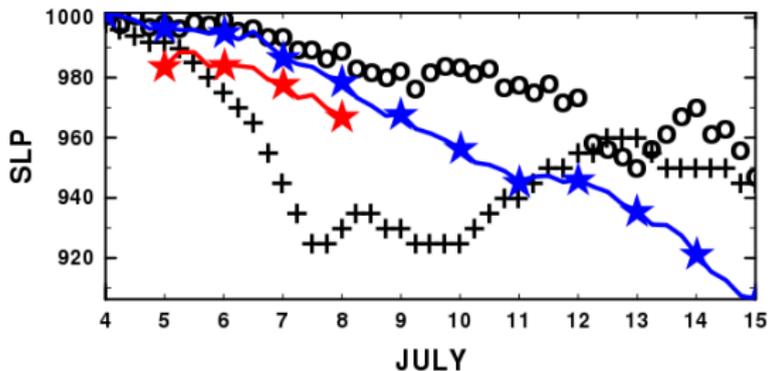
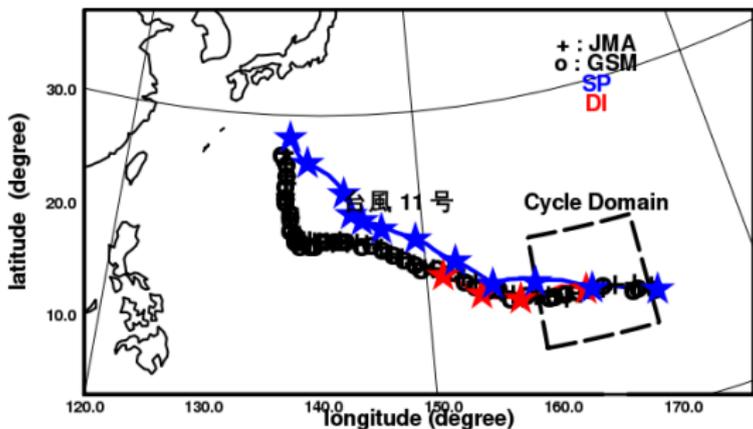
経路に関して...

- 強制なし (FR) 実験は北進傾向を示さない.
- アナリシスナッジング (AN) 実験は解析値を再現した.
- スペクトルナッジング (SP) 実験は後半の北進傾向を示した.

強度に関して...

- FR 実験は積分後半で発達を開始した.
- AN 実験は解析値を再現した.
- SP 実験は FR 実験と同じ傾向を示した.

結果 2 (力学的初期値化手法)



T1511 に対する水平解像度 2.5 km CReSS 実験.

経路に関して...

- スペクトルナッジングのみ (SP) 実験は解析値と同様の傾向を示した.
- 力学的初期値化手法 (DI) 実験は解析値に追従する結果を示した.

強度に関して...

- SP 実験は積分開始からの強度の変化が強度解析に対してゆるやか.
- DI 実験は積分開始からの急激な強度変化を再現 (ただし, その変化が持続するのは約 1 日程度).
- DI 実験の積分開始約 1 日後からは SP 実験と同程度の発達率を維持.

高解像度台風シミュレーションの精度向上のために、数値モデル CReSS に 2 つのデータ同化手法を適用し、その効果を検証した。

スペクトルナッジング手法

- von Storch et al. (2000) の手法を CReSS モデルのメインプログラムに実装し、経路の再現性が悪い台風事例に適用。
- ナッジング強制なしの場合に比べて経路が改善。
- アナリシスナッジング強制に比べて強度が改善。

力学的初期値化手法

- Cha and Wang (2013) の 2-way nesting モデル用スキームを 1-way nesting モデル用に修正し、強度の再現性が悪い台風事例に適用。
- 積分開始から約 1 日程度では、台風の発達強度解析とほぼ同じ傾向を示した。
- しかし、それ以降は初期値化を施さない実験と同程度の発達率にとどまった。

- Cha, D.-H., and Y. Wang, 2013: A dynamical initialization scheme for real-time forecasts of tropical cyclones using the WRF model. *Mon. Wea. Rev.*, **141**, 964–986, doi:10.1175/MWR-D-12-00077.1.
- Kida, H., T. Koide, H. Sasaki, and M. Chiba, 1991: A new approach for coupling a limited area model to a GCM for regional climate simulations. *J. Meteor. Soc. Japan*, **69**, 723–728.
- Kurihara, Y., M. A. Bender, and R. J. Ross, 1993: An initialization scheme of hurricane models by vortex specification. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 2030–2045, doi:10.1175/1520-0493(1993)121<2030:AIsoHM>2.0.CO;2.
- Nguyen, H. V., and Y.-L. Chen, 2011: High-resolution initialization and simulations of typhoon Morakot (2009). *Mon. Wea. Rev.*, **139**, 1463–1491, doi:10.1175/2011MWR3505.1.
- Takayabu, I., and M. Kanamitsu, 2010: Review of dynamical downscaling. *TENKI*, **57**, 435–447.
- von Storch, H., H. Langenberg, and F. Feser, 2000: A spectral nudging technique for dynamical downscaling purposes. *Mon. Wea. Rev.*, **128**, 3664–3673, doi:10.1175/1520-0493(2000)128<3664:ASNTFD>2.0.CO;2.